

溴虫腈对家蚕和桑树害虫的毒力比较

马 惠, 王开运*, 王红艳, 司树鼎

(山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

摘要:为了比较溴虫腈在家蚕 *Bombyx mori* 和桑树害虫间的选择性毒力, 采用食下毒叶法测定了溴虫腈、二嗪磷、敌敌畏、辛硫磷和三唑磷 5 种杀虫剂对家蚕的毒性; 用浸叶法测定了 5 种杀虫剂对桑尺蠖 *Phthonandria atrilineata* Butler、桑螟 *Diaphania pyloalis* Walker 和桑毛虫 *Porthesia xanthocampa* Dyer 的毒力。在桑园喷施溴虫腈检测了其在桑树上对家蚕的残留毒性期, 通过食下毒叶法系统研究了溴虫腈对家蚕生长发育的影响。结果表明, 二嗪磷、敌敌畏、辛硫磷和三唑磷 72 h 对家蚕的毒性倍数分别大于溴虫腈的 15.5、93.3、154.0 和 188.5 倍。溴虫腈、三唑磷、辛硫磷和敌敌畏 48 h 相对于二嗪磷对桑尺蠖的毒力倍数分别是 49.1、3.2、2.3 和 1.4 倍, 对桑螟的毒力倍数分别是 79.4、3.6、2.4 和 1.8 倍, 对桑毛虫的毒力倍数分别为 67.2、3.2、2.2 和 1.7 倍。对桑树喷施 100、50、25 和 12.5 mg/L 溴虫腈, 桑叶的残留毒性期分别为 3、0、0 和 0 天。用溴虫腈 100、50、25 和 12.5 mg/L 处理的桑叶饲喂家蚕后, 存活幼虫的历期、眠蚕体重、熟蚕体重、全茧量、茧层量、蛹重和化蛹率与对照相比均无显著性差异。据此认为溴虫腈是适合防治桑园害虫又对家蚕较安全的药剂。

关键词:溴虫腈; 家蚕; 桑树害虫; 选择性毒力

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2006)04-0599-05

Selective toxicity of chlorfenapyr to silkworm and mulberry pests

MA Hui, WANG Kai-Yun*, WANG Hong-Yan, SI Shu-Ding (College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: For comparing the selective toxicity of chlorfenapyr between silkworm and mulberry silkworms and mulberry pests, the toxicity of chlorfenapyr, diazinon, dichlorvos, phoxim and triazophos was determined using food intake method, the toxicity of the five insecticides to *Phthonandria atrilineata* Butler, *Diaphania pyloalis* Walker and *Porthesia xanthocampa* Dyer was assayed in room using leaf dipping method, the period of residual toxicity of chlorfenapyr on mulberry to silkworm was tested by spraying pesticide in mulberry field, and the effect to growth and development of silkworm was investigated using food intake method. The results indicated that the toxicity of diazinon, dichlorvos, phoxim and triazophos in 72 h after treatment was 15.5, 93.3, 154.0 and 188.5 times higher than that of chlorfenapyr, respectively. The LC₅₀ of chlorfenapyr, triazophos, phoxim and dichlorvos in 48 h after treatment to *P. atrilineata* was 49.1, 3.2, 2.3 and 1.4 times higher than that of diazinon, to *D. pyloalis* was 79.4, 3.6, 2.4 and 1.8 times higher than that of diazinon, and to *E. similis* was 67.2, 3.2, 2.2 and 1.7 times higher than that of diazinon, respectively. The period of residual toxicity of 100, 50, 25 and 12.5 mg/L of chlorfenapyr sprayed on mulberry field was 3, 0, 0 and 0 days, respectively. The developmental duration of survival larvae, the weight of dormant silkworm, the weight of mature silkworm, cocoon weight, cocoon shell weight, pupa weight and pupation rate in treatments of 100, 50, 25 and 12.5 mg/L of chlorfenapyr showed no significant difference compared with the control. The results suggest that chlorfenapyr is an insecticide suitable to control pests in mulberry field and safe to silkworm.

Key words: Chlorfenapyr; silkworm; mulberry pests; selective toxicity

家蚕 *Bombyx mori* 是我国农业生态系统中重要的经济昆虫, 桑叶是家蚕的唯一食料。桑树害虫往

往发生在养蚕季节, 不仅与家蚕争食桑叶, 还能降低桑叶的质量和产量, 对养蚕业影响很大。目前防治

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B08)

作者简介: 马惠, 女, 1981 年生, 山东兖州人, 硕士研究生, 主要从事农药毒理学研究, E-mail: mahui@sdau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: kywang@sdau.edu.cn

收稿日期 Received: 2005-11-05; 接受日期 Accepted: 2006-04-18

桑树害虫仍是以药剂防治为主,通常使用一些在田间持效期较短的有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂及其混剂,而这些药剂对家蚕的毒性都较高,蚕农难以控制使用和采摘桑叶的时间,家蚕中毒事故经常发生(王照红等,2002)。同时,随着长期使用几种限定农药防治桑树害虫,一些鳞翅目害虫如桑尺蠖 *Phthonandria atrilineata* Butler、桑螟 *Diaphania pyloalis* Walker、桑毛虫 *Porthesia xanthocampa* Dyer 等对之也产生了不同程度的抗药性(吴福安等,1998;吴福安和程嘉翎,2000;王路成和周绍仁,2004),给桑树害虫的防治带来更大困难。因此寻找对桑树害虫药效高、杀虫谱广,且对家蚕毒性小的杀虫剂,对养蚕业的发展是十分必要的。

溴虫腈(chlorfenapyr)是美国氰胺公司于20世纪80年代后期研发的芳基吡咯类杀虫杀螨剂,高效广谱,与其他杀虫剂无交互抗性,对抗性害虫的防治效果好,已在蔬菜、果树、棉花等多种作物上登记使用(徐尚成和蒋木庚,2003)。作者在对农药的环境风险评价中发现了该药剂在家蚕和害虫间存在突出的选择性毒力。为能获得一种对家蚕毒性小,对桑树害虫毒力较高的杀虫剂,更好的为养蚕业服务,本实验测定了溴虫腈、二嗪磷、敌敌畏、辛硫磷和三唑磷对家蚕的毒性以及对3种桑树主要鳞翅目害虫的毒力,研究了桑园喷施溴虫腈的残留毒性,系统研究了溴虫腈对家蚕生长发育的影响,并评价了溴虫腈在家蚕和桑树害虫之间的选择性毒力。

1 材料与方法

1.1 试虫

桑尺蠖、桑毛虫和桑螟均采自山东农业大学泰安试验基地桑园内。

家蚕品种为镇珠×春蕾,从山东广通蚕种集团有限公司购买。用常规方法催青和饲养,恒温养虫室温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 供试药剂

溴虫腈(chlorfenapyr),10%除尽悬浮剂,德国巴斯夫有限公司生产;二嗪磷(diazinon),95%原油,山东鲁南农药股份公司生产;40%乳油,实验室配制;敌敌畏(dichlorvos),80%乳油,湖北沙隆达股份公司生产;辛硫磷(phoxim),40%乳油,山东鲁南农药股份公司生产;三唑磷(triazophos),92%原油,山东乐陵农药厂生产;20%乳油,实验室配制。

1.3 桑树树龄

嫁接桑树4年,桑叶盛产期。

1.4 实验方法

1.4.1 5种药剂对家蚕毒性的测定方法:采用国家化学农药环境安全评价试验准则中推荐的食下毒叶法(food intake method)。在直径9 cm的玻璃皿内饲养家蚕,至2龄起蚕时供测。将药剂用水稀释成4~6个系列浓度,从桑树上采集健壮的子叶(第2、3片展开叶),先用清水冲洗并自然晾干表面水分,然后以5 mL药液浸渍5 g桑叶,晾干供蚕食用,以用清水浸渍的为对照(CK)。每组20头蚕,对照组和每一浓度组均设3个平行。整个试验期间饲喂处理桑叶。处理后的试虫置于 25°C 恒温养虫室内,每隔24 h检查死、活虫数,观察记录存活个体中毒症状,至3龄起。对照组死亡率小于10%的试验为有效试验。所得结果用Finney机率分析法和DPS数据分析软件处理。计算出5种药剂72 h对家蚕的 LC_{50} 值。

1.4.2 5种药剂对桑树害虫的毒力测定方法:采用浸叶法。将药剂用清水稀释成5~7个系列浓度,把桑叶在药液中浸渍5 s,取出后自然晾干表面水分,用剪刀将之剪成叶蝶,每一叶蝶放入1个 80 cm^3 养虫盒中,分别接入10头3龄桑尺蠖、桑螟和桑毛虫。每个处理重复4次,以用清水处理的为对照。处理后的试虫置于 25°C 恒温养虫室内,48 h、72 h检查死、活虫数,对照组死亡率小于10%的试验为有效试验。计算死亡率和校正死亡率,数据处理同前。

1.4.3 溴虫腈在桑叶上的残留毒性期测定:在桑叶盛产期,将溴虫腈悬浮剂用水稀释至100、50、25和12.5 mg/L 4个浓度,用背负式喷雾器分别进行喷施处理桑树,每处理区5株,重复4次,每株桑树喷2 L药液。自喷药后1天起每天分别采叶饲喂2龄起蚕,每处理100头,重复4次,每天检查死、活虫数,观察中毒症状,计算一个龄期的中毒死亡率。

1.4.4 溴虫腈对家蚕生长发育影响的测定及观察方法:同1.4.1节方法。将100、50、25和12.5 mg/L 4个浓度处理的家蚕活虫,3龄起改喂无毒桑叶,观察存活个体各龄期历期,并在每次眠时称量存活眠蚕的鲜重。整个实验饲养至结茧、化蛹为止,结茧后一周称全茧量(即茧重)、茧层量(茧皮重)、蛹重,并计算化蛹率。眠蚕体重于处理区满30条眠蚕时称重;上簇时期以最早上簇蚕和最后上簇蚕的时间为依据,全茧量、茧层重和蛹重的调查采用常规方法。所得结果用Finney机率分析法和DPS数据分析软件处理。

2 结果与分析

2.1 农药对家蚕的毒性比较

由表1看出,二嗪磷、敌敌畏、辛硫磷和三唑磷4种药剂对家蚕72 h的LC₅₀值都较小,其毒性分别大于溴虫腈的15.5、93.3、154.0和188.5倍。证明溴虫腈是一种对家蚕不敏感的药剂。

表1 5种药剂对家蚕的毒性

Table 1 The toxicity of five insecticides to the larvae of silkworm

| 杀虫剂 Insecticide | 毒力回归 Regression equation ($y = a + bx$) | LC ₅₀ (mg/L) (95% CL) | 毒性倍数 Toxicity ratio |
|-------------------|---|--------------------------------------|---------------------|
| 溴虫腈 Chlormfenapyr | ~ | > 100 | 1 |
| 二嗪磷 Diazinon | 2.2346 + 3.4106x | 6.4688 (5.6667 ~ 7.3845) | > 15.5 |
| 敌敌畏 Dichlorvos | 4.9024 + 3.2630x | 1.0713 (0.7230 ~ 1.6796) | > 93.3 |
| 辛硫磷 Phoxim | 6.1380 + 6.0699x | 0.6494 (0.3757 ~ 0.8267) | > 154.0 |
| 三唑磷 Triazophos | 5.5694 + 2.0685x | 0.5306 (0.4509 ~ 0.6126) | > 188.5 |

2.2 5种药剂对桑树害虫的毒力比较

由表2看出,溴虫腈对桑尺蠖48 h的LC₅₀为14.85 mg/L,毒力最高;三唑磷、辛硫磷、敌敌畏和二嗪磷的LC₅₀值都较大,其中二嗪磷的LC₅₀值达728.31 mg/L,毒力最低;溴虫腈的毒力是二嗪磷的49.1倍。

由表3看出,溴虫腈对桑螟48 h的LC₅₀为18.30 mg/L,毒力最高;三唑磷、辛硫磷、敌敌畏和二嗪磷的

LC₅₀值都很大,其中二嗪磷的LC₅₀值达1 453.80 mg/L,毒力亦最低;溴虫腈的毒力是二嗪磷的79.4倍。

由表4看出,溴虫腈对桑毛虫48 h的LC₅₀为22.95 mg/L,毒力最高;三唑磷、辛硫磷、敌敌畏和二嗪磷的LC₅₀值都很大,其中二嗪磷的LC₅₀值达1 542.90 mg/L,毒力最低;溴虫腈的毒力是二嗪磷的67.2倍。

表2 5种药剂对桑尺蠖的毒力

Table 2 The toxicity of five insecticides to *Phthonandria atrilineata*

| 杀虫剂 Insecticide | 毒力回归 Regression equation ($y = a + bx$) | LC ₅₀ (mg/L) (95% CL) | 毒力倍数 Toxicity ratio |
|-------------------|---|--------------------------------------|---------------------|
| 溴虫腈 Chlormfenapyr | 0.9335 + 3.4709x | 14.85 (11.25 ~ 20.88) | 49.1 |
| 三唑磷 Triazophos | - 2.9843 + 3.3915x | 226.04 (151.66 ~ 360.61) | 3.2 |
| 辛硫磷 Phoxim | - 0.7548 + 2.3023x | 315.94 (218.34 ~ 482.29) | 2.3 |
| 敌敌畏 Dichlorvos | - 3.0940 + 2.9741x | 526.62 (370.09 ~ 783.30) | 1.4 |
| 二嗪磷 Diazinon | - 3.1760 + 2.8564x | 728.31 (571.97 ~ 945.08) | 1.0 |

表3 5种药剂对桑螟的毒力

Table 3 The toxicity of five insecticides to *Diaphania pyloalis*

| 杀虫剂 Insecticide | 毒力回归 Regression equation ($y = a + bx$) | LC ₅₀ (mg/L) (95% CL) | 毒力倍数 Toxicity ratio |
|-------------------|---|--------------------------------------|---------------------|
| 溴虫腈 Chlormfenapyr | 0.4790 + 3.5812x | 18.30 (13.44 ~ 26.84) | 79.4 |
| 三唑磷 Triazophos | - 1.9272 + 2.6553x | 406.25 (316.70 ~ 532.76) | 3.6 |
| 辛硫磷 Phoxim | - 2.4859 + 2.6907x | 605.53 (463.96 ~ 809.34) | 2.4 |
| 敌敌畏 Dichlorvos | - 4.5033 + 3.2614x | 820.12 (617.47 ~ 1 117.90) | 1.8 |
| 二嗪磷 Diazinon | - 12.1070 + 5.4094x | 1 453.80 (1 029.1 ~ 2 129.20) | 1.0 |

表4 5种药剂对桑毛虫的毒力

Table 4 The toxicity of five insecticides to *Porthesia xanthocampa*

| 杀虫剂 Insecticide | 毒力回归 Regression equation ($y = a + bx$) | LC ₅₀ (mg/L) (95% CL) | 毒力倍数 Toxicity ratio |
|-------------------|---|--------------------------------------|---------------------|
| 溴虫腈 Chlormfenapyr | - 1.1683 + 4.5330x | 22.95 (17.86 ~ 30.80) | 67.2 |
| 三唑磷 Triazophos | - 2.7877 + 2.9014x | 483.18 (331.26 ~ 742.24) | 3.2 |
| 辛硫磷 Phoxim | - 2.0954 + 2.4980x | 692.48 (500.93 ~ 991.55) | 2.2 |
| 敌敌畏 Dichlorvos | - 3.5878 + 2.8923x | 931.49 (696.45 ~ 1 279.80) | 1.7 |
| 二嗪磷 Diazinon | - 7.7163 + 3.9884x | 1 542.90 (1 217.40 ~ 1 987.40) | 1.0 |

综合 5 种药剂对 3 种桑树害虫的毒力可以得出 溴虫腈对桑尺蠖、桑螟和桑毛虫 3 种害虫 48 h 的 LC_{50} 值分别为 14.85、18.30 和 22.95 mg/L, 二嗪磷、敌敌畏、辛硫磷和三唑磷 4 种药剂对 3 种害虫的 LC_{50} 值达 226.04 ~ 1 542.90 mg/L, 溴虫腈与其他 4 种药剂间的毒力差别很大, 但 4 种常用有机磷杀虫剂间的毒力相差却不太大。由此说明在桑园使用有机磷杀虫剂对养蚕的风险性大, 急需寻求取代药剂。

2.3 溴虫腈在桑叶上对家蚕的残留毒性

表 5 不同浓度溴虫腈在桑叶上对家蚕的残留毒性

Table 5 Residual effect to silkworm of chlorfenapyr of different concentrations sprayed on mulberry field

| 喷洒浓度 (mg/L) Spraying concentration | 不同时间采集桑叶饲喂家蚕的死亡率 Mortality of silkworms fed with mulberry leaves collected at different time after treatment (%) | | | | |
|---------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | 1 d | 2 d | 3 d | 4 d | 5 d |
| 对照 CK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 32.5 | 2.5 | 2.5 | 0 | 0 |

2.4 溴虫腈对家蚕生长发育的影响

2.4.1 对家蚕幼虫龄期的影响 : 分别用 100、50、25 和 12.5 mg/L 溴虫腈处理的家蚕幼虫(2 龄起蚕), 存活个体的 2 龄、3 龄、4 龄、5 龄发育历期与对照相比均无显著差异。

采集喷施不同浓度溴虫腈的桑叶饲喂家蚕 2 龄起蚕, 其死亡率变化见表 5。100 mg/L 溴虫腈处理 1、2 和 3 天分别采叶饲喂家蚕, 72 h 死亡率分别为 32.5%、2.5% 和 2.5% , 死亡率低, 中毒家蚕主要表现为取食量减少、不活泼、生长缓慢, 中毒较重者身体严重缩短, 吐水死亡, 72 h 后死亡率不再增加, 生长趋势逐渐恢复正常。12.5、25 和 50 mg/L 3 个浓度的处理, 家蚕生长发育基本正常。由此可见, 溴虫腈对家蚕杀虫活性小, 在桑叶上残留时间较短。

表 6 不同浓度溴虫腈处理家蚕后眠蚕的体重

Table 6 Fresh body weight of different molters of *Bombyx mori* in different concentrations of chlorfenapyr

| 浓度 (mg/L) Concentration | 眠蚕体重 Fresh body weight of molters (g) | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| | 2 龄 Second molter | 3 龄 Third molter | 4 龄 Fourth molter | 熟蚕 Mature silkworm |
| 对照 CK | 0.0314 ± 0.0014 a | 0.1479 ± 0.0062 abc | 0.6376 ± 0.0093 ab | 3.552 ± 0.0864 abc |
| 12.5 | 0.0311 ± 0.0011 a | 0.1416 ± 0.0078 c | 0.6278 ± 0.0142 b | 3.696 ± 0.0913 a |
| 25 | 0.0321 ± 0.0009 a | 0.1431 ± 0.0084 bc | 0.6195 ± 0.0150 b | 3.411 ± 0.1272 c |
| 50 | 0.0314 ± 0.0015 a | 0.1531 ± 0.0066 ab | 0.6531 ± 0.0150 a | 3.621 ± 0.1136 ab |
| 100 | 0.0316 ± 0.0017 a | 0.1565 ± 0.0080 a | 0.6539 ± 0.0140 a | 3.493 ± 0.1087 bc |

注 : 表中数据经 Duncan 新复极差检验, 同列数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note : Data in the table were tested by Duncan 's test, and those in a column followed by different letters show significant difference at 0.05 level.

2.4.3 对家蚕全茧量(即茧重)、茧层量(茧皮重)、蛹重和化蛹率的影响

用溴虫腈 100 mg/L、50 mg/L、25 mg/L 和 12.5 mg/L 处理的家蚕, 其全茧量、茧层重和蛹重与对照基本一致。各处理对家蚕全茧量、茧层量和蛹重的影响与对照相比也无显著性差异($P > 0.05$) (图 1)。由此证明, 溴虫腈以低于 50 mg/L 剂量用于防治桑园害虫, 处理的桑叶饲喂家蚕, 对其全茧量、茧层量和蛹重无明显不利影响。不同浓度溴虫腈处理和对照的化蛹率均达 95% 以上, 对家蚕化蛹也无明显影响。

3 讨论

蚕桑业是我国重要的传统支柱产业和出口创汇产业。由于家蚕长期在室内饲养, 使得其对农药十分敏感, 经常发现在防治桑树害虫中因盲目使用了有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂, 使桑叶无法养蚕的现象, 对养蚕业的风险较大(王照红等 2002)。桑树与粮食或蔬菜间种及混种, 农作物害虫防治用药也直接或间接污染桑叶。因此, 在防治害虫的同时还要考虑其对家蚕的毒性, 这就使得许多常用农药不

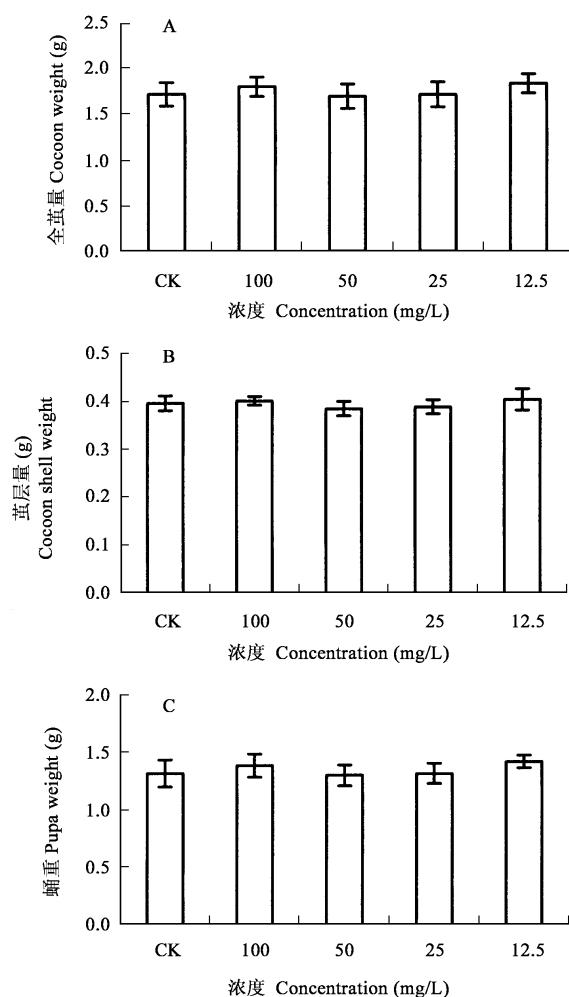


图 1 不同浓度溴虫腈处理后家蚕的全茧量(A)
茧层量(B)和蛹重(C)

Fig. 1 Cocoon weight (A), cocoon shell weight (B)
and pupa weight (C) of *Bombyx mori*
treated with different concentrations of chlorfenapyr

能在桑园内以及与桑园相邻的菜地、大田内使用。即使如辛硫磷、敌敌畏等通常被认为残毒期较短的农药,在生产中也会造成污染危害,引起大面积家蚕中毒。家蚕中毒有两种表现,一种是急性中毒,主要表现为突然停止取食、乱爬、乱吐液,痉挛后麻痹死亡;另一种是慢性中毒,主要表现为生长发育不齐,体质虚弱,不结茧或结畸形茧,一般不易被人察觉,但严重影响蚕茧的产量和质量。家蚕中毒使得养蚕业的经济效益大大下降。因此,桑树害虫和桑园周围农田害虫的防治用药一直是难以解决的难题。因此选择对家蚕安全的药剂,不仅对防治桑树害虫有重要意义,也为桑园周边农田防治害虫避免误伤家蚕提供了保障。

溴虫腈是一种新型杀虫剂,已在我国蔬菜等作物上用来防治多种害虫,具有触杀和胃毒作用,其杀虫机制与传统药剂不同(Kuhn, 1997; 张芝平, 1999)。本实验证明,溴虫腈对桑尺蠖、桑螟和桑毛虫3种鳞翅目害虫的 LC_{50} 均小于25 mg/L,明显高于其他4种常规杀虫剂对3种害虫的毒力。而用50 mg/L溴虫腈处理的桑叶饲喂家蚕2龄幼虫,家蚕不仅无死亡现象,而且幼虫历期、眠蚕体重、全茧量、茧层率、化蛹率与对照相比均无显著差异。残毒试验表明,田间以50 mg/L溴虫腈喷雾施用,喷药当天采叶喂蚕即无家蚕中毒现象。由此证明,溴虫腈是一种在桑树害虫和家蚕间选择性较高的药剂,如果在鳞翅目害虫幼虫低龄期使用,还可进一步提高杀虫效果。该药剂在我国养蚕业中的应用价值尚需经系统的田间药效试验加以检验,其杀虫谱、对家蚕成虫产卵、卵的孵化率及后代生长发育的影响,还有待于进一步研究。

参 考 文 献 (References)

Kuhn DG, 1997. Structure-activity relationship for insecticidal pyroles. In: Hedin PA ed. *Phytochemicals for Pest Control*. Washington DC: Amer. Chem. Soc. 195–205.

Wang LC, Zhou SR, 2004. Effect status and countermeasure of often using organophosphorus to *Diaphania pyloalis* Walker. *Jiangsu Sericulture*, (3): 26–27. [王路成, 周绍仁, 2004. 常用有机磷农药防治桑螟虫药效现状和对策. 江苏蚕业 (3): 26–27]

Wang ZH, Du JX, Liang MZ, Sun RY, Gong LM, Hu YL, 2002. Residue toxicity experiment of the several common mulberry's pesticide to silkworm. *Acta Sericologica Sinica*, 28(2): 146–151. [王照红, 杜建勋, 梁明芝, 孙日彦, 宫力民, 胡玉玲, 2002. 几种桑园常用杀虫剂对家蚕的残毒期试验. 蚕业科学 28(2): 146–151]

Wu FA, Tian LD, Cheng JL, 1998. Studies on a new insecticide (synphonate) to control mulberry geometrid. *Acta Sericologica Sinica*, 24(3): 131–135. [吴福安, 田立道, 程嘉翎, 1998. 防治桑尺蠖新药万杀灵的研究. 蚕业科学 24(3): 131–135]

Wu FA, Cheng JL, 2000. Prevention effect of Sangchongqing to *Phthonandria atrilineata* Butler special used in mulberry field. *Acta Sericologica Sinica*, 26(1): 51–52. [吴福安, 程嘉翎, 2000. 桑园专用杀虫剂桑虫清对桑尺蠖防治效果. 蚕业科学 26(1): 51–52]

Xu SC, Jiang MG, 2003. Research and development of chlorfenapyr. *Chinese Journal of Pesticides*, 42(2): 5–8. [徐尚成, 蒋木庚, 2003. 溴虫腈的研究与开发进展. 农药 42(2): 5–8]

Zhang ZP, 1999. Study on structure activity relationship and mechanisms of pyrrole insecticides. *World Pesticides*, 21(6): 12–16. [张芝平, 1999. 吡咯类杀虫剂的构效关系和作用机理研究. 世界农药 21(6): 12–16]

(责任编辑:黄玲巧)